Untersuchungen über das Verhältniss zwischen dem elektrostatischen und elektromagnetischen Maass-system. I.

(Mit 1 Tafel.)

Von Dr. **Ignaz Klemenčič,**
Privatdocent und Assistent an der Universität in Graz.

I. Einleitung.

Das Verhältniss zwischen der elektrostatischen und elektromagnetischen Einheit der Stromintensität hat der berühmte englische Physiker Maxwell mit v bezeichnet, da demselben die Dimension einer Geschwindigkeit zukommt. Derselbe Gelehrte hat die Auswerthung dieser Grösse zu den wichtigsten Untersuchungen gezählt, zu denen die elektrischen Erscheinungen Veranlassung geben (Maxwell, Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus, deutsch von Weinstein, Cap. 19, pag. 516).

Die Wichtigkeit dieser Zahl liegt nicht bloss in dem praktischen Interesse, welches der Physiker an der genauen Bestimmung des Verhältnisses zweier wichtiger Maassysteme besitzt, sondern auch ganz besonders in jenen Ansichten, die von dem genannten englischen Forscher über die Wechselbeziehungen zweier Gebiete physikalischer Erscheinungen, des Lichtes und der Elektricität, aufgestellt worden sind, und denen zufolge die Grösse v mit der Lichtgeschwindigkeit identisch sein soll.

Neben Weber und Kohlrausch,[1] dann Thomson[2] und Maxwell,[3] die die ersten Bestimmungen des v lieferten, beschäf-

---

[1] Weber und Kohlrausch: Elektrodyn. Maassbest. Leipzig 1856.

[2] Thomson. Rep. Brit. Assoc. 1869. — Gordon: A physical treatise on electricity and magnetism. Vol. II, pag. 194. Wiedemann: Galvanismus. II. Aufl., pag. 462.

[3] L. c. Wiedemann: Galvanismus.

tigte sich in den letzten Jahren eine grössere Zahl von Physikern mit der experimentellen Feststellung des Werthes von v, und zwar insgesammt nach Methoden, die schon von Maxwell in seinem bereits citirten Lehrbuche mit grösserer oder geringerer Ausführlichkeit angegeben wurden.

Die ersten von Weber und Kohlrausch, dann Thomson und Maxwell ermittelten Werthe liegen ziemlich weit auseinander. Jene leiteten aus ihren Beobachtungen den Werth $3 \cdot 107 \times 10^{10}$ ab; Thomson fand $2 \cdot 82 \times 10^{10}$, Maxwell $2 \cdot 88 \times 10^{10}$.

Die Ergebnisse der neueren Untersuchungen liegen zwar innerhalb engerer Grenzen, indem sie durchwegs zwischen die Weber'sche und Maxwell'sche Zahl fallen, es ist jedoch mit ihnen noch durchaus nicht jene genaue Kenntniss dieser Grösse erreicht, welche ihrer Wichtigkeit entspricht. So fand

Mc. Kichan[1] im Jahre 1873 nach der Methode von Thomson durch die Bestimmung einer elektromotorischen Kraft im elektrostatischen und elektromagnetischen Maasse den Werth $2 \cdot 93 \times 10^{10}$

R. Shida[2] fand nach eben dieser Methode im Jahre 1881 $v =$ $2 \cdot 995 \times 10^{10}$

W. E. Ayrton und Perry[3] bestimmten die Capacität eines mit Schutzring versehenen Condensators durch Rechnung in elektrostatischem Maasse, dann in elektromagnetischem, indem sie ihn mittelst einer Kette von 382 Dan. El. luden und durch ein Galvanometer entluden. Diese Methode ergab $v =$ $2 \cdot 980 \times 10^{10}$

Hockin[4] ermittelte auf diese Weise $v =$ $2 \cdot 988 \times 10^{10}$

Im Märzhefte 1881 dieser Sitzungsberichte veröffentlichte ich einige vorläufige Resultate, die nach einer ähnlichen Methode, wie die vorhergehende gewonnen wurden; der Unterschied

---

[1] Phil. Mag. 47. Berl. Fortschritte 1873. — Gordon: A physical etc.

[2] Phil. Mag. 1881. Wiedemann's Beiblätter 1881.

[3] Phil. Mag. 1879. Gordon: A physical etc. Vol. II, pag. 198. Wiedemann's Beibl. 1879.

[4] Gordon: L. c.

zwischen beiden Methoden lag in der Anwendung einer continuirlichen Ladung und Entladung des Condensators, wodurch die Anwendung einer Ladungskette von sehr vielen Elementen entfällt. — Zu den Versuchen diente ein Condensator nach Kohlrausch; dessen Capacität wurde nach der Formel gerechnet, die eine durchaus gleichmässige Vertheilung der Elektricität an den Condensatorflächen voraussetzt. Das ist jedoch ein Fall, der der Wirklichkeit nicht entspricht; die veröffentlichten Resultate waren daher nur als ein Beweis der Brauchbarkeit der beschriebenen Methode anzusehen.

Stoletow beobachtete nach der gleichen Methode jedoch unter Anwendung eines Schutzring-Condensators. Er beschrieb seine Versuche im „Journal de physique t. X. 1881" und bezeichnete als vorläufiges Resultat die beiden Grenzwerthe 2·98 und $3 \cdot 00 \times 10^{10}$

In gleicher Weise versuchte Branly[1] die Elektricitätsmenge zu bestimmen, welche ein Daniell'sches Element bei einem gewissen Schliessungswiderstande in der Zeiteinheit durch den Querschnitt schickt, ohne jedoch daraus einen Werth für v abzuleiten.

J. J. Thomson[2] benützte ebenfalls diese Art der Untersuchung. Als Resultat derselben wird angegeben $v =$ $2 \cdot 963 \times 10^{10}$

F. Exner[3] ermittelte durch Vergleich der Einheiten der elektromotorischen Kräfte den Werth $3 \cdot 01 \times 10^{10}$. Bei diesen Versuchen wurde 1 S.E. $= 0 \cdot 9717 \times 10^{9}$ absoluten Einheiten angenommen. Dieser Werth, der von Kohlrausch[4] im Jahre 1873 gefunden wurde, ist in neuester Zeit von ihm selbst nach einer abermaligen Ausmessung

---

1 Compt. rend. 1873.

2 Proc. Roy. Soc. 35. 1883. Wiedemann's Beibl. 1883.

3 Sitzungsber. der Wiener Akademie. Bd. 86. Jahrg. 1882.

4 Pogg. Ann. Ergb. VI.

der Fläche des benützten Inductors verbessert worden.[1] Darnach ist 1 S. E. $= 0 \cdot 9433 \times 10^9$ abs. E. zu setzen. — Legt man der Berechnung Exner's diesen Werth zu Grunde, so folgt $v =$ $2 \cdot 92 \times 10^{10}$

Rowland[2] leitete aus seinen Versuchen über die magnetische Kraftwirkung der convectiv fortgeführten Elektricität einen Werth ab $=$ $3 \cdot 0448 \times 10^{10}$

Die angeführten Zahlen beweisen, dass man mit den bisherigen Untersuchungen noch nicht an der Grenze der wünschenswerthen Genauigkeit angelangt ist, und dass es weiteren Bemühungen vorbehalten bleiben muss, eine Entscheidung über den richtigen Werth der Grösse v herbeizuführen.

In der vorliegenden Abhandlung werden Versuche beschrieben, welche ich zur Ermittlung der obigen Zahl nach der Methode anstellte, über die bereits (l. c.) einige vorläufige Resultate mitgetheilt wurden. Das Wesen der Methode selbst besteht in Folgendem: Man ladet einen Condensator, dessen Capacität man im elektrostatischen Maasse berechnen kann, mittelst einer Kette mehrmals in der Secunde und entladet ihn eben so oft durch ein Galvanometer, wobei man an diesem einen constanten Ausschlag beobachtet. Dieser Vorgang sei als Beobachtung der Condensatorentladungen bezeichnet. Dann schliesst man die Kette durch einen Widerstand und durch ein Galvanometer und beobachtet an diesem wieder den constanten Ausschlag. Diesen zweiten Vorgang will ich die Beobachtung bei geschlossener Kette nennen. Aus dem Verhältniss der beiden Galvanometerausschläge, aus der Anzahl der Entladungen in der Secunde, aus der elektrostatischen Condensatorcapacität und aus dem in elektromagnetischem Maasse ausgedrückten Widerstande bei geschlossener Kette lässt sich der Werth des v berechnen.

Als ein besonderes Merkmal dieser Versuche kann die Anwendung eines Condensators ohne Schutzring angesehen werden. Während man sich bisher durchwegs der Schutzringcondensatoren bediente, wo es sich um eine exacte Berechnung der Capacität

[1] Nachrichten der königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 1882. Wied. Ann. Bd. 18, p. 513.

[2] Berliner Monatsber. 1876. Gordon Vol. II, pag. 201. — Pogg. A. Bd. 158.

nach elektrostatischem Maasse handelte, gebrauchte ich hier zum ersten Male einen einfachen, aus zwei kreisförmigen Platten bestehenden Condensator. Die Capacität eines solchen Condensators kann nach einer von Kirchhoff[1] abgeleiteten Formel berechnet werden. Die gute Übereinstimmung der Werthe, die bei verschiedenen Plattendistanzen erhalten wurden, beweist, dass die erwähnte Formel bei einem derartigen Condensator mit aller wünschenswerthen Genauigkeit anwendbar ist. Dieses Resultat hat insoferne eine praktische Bedeutung, als es nun möglich sein wird, einen Condensator von genau berechenbarer Capacität ohne grossen Aufwand von Geld und Kunst herzustellen. Wollte man die Berechtigung des oben Gesagten noch auf eine andere Weise auf die Probe stellen, dann würde es sich empfehlen, einen gewöhnlichen kreisförmigen Plattencondensator direct mit einem Schutzringcondensator zu vergleichen.

Als Commutator, der die Ladung und Entladung des Condensators selbstthätig zu besorgen hatte, ist hier eine elektromagnetisch anregbare Stimmgabel verwendet worden. Es darf mit Recht behauptet werden, dass alle Vorrichtungen, welche zu einem ähnlichen Zwecke ersonnen und benützt wurden, von dieser bezüglich der Regelmässigkeit des Ganges übertroffen werden, sie ist, bei sorgfältiger Behandlung, ohne Zweifel der beste Commutator für solche Versuche.

Bei der Ausführung der Messungen ist, wie oben auseinandergesetzt, die Beobachtung zweier Vorgänge nothwendig; die der Condensatorentladungen und die Beobachtung bei geschlossener Kette. Führt man dieselben hintereinander durch, so kann mit Recht gefragt werden, ob die Kette in den beiden Fällen wohl auch die gleiche elektromotorische Kraft besitze, oder mit anderen Worten, ob die elektromotorische Kraft bei offener und bei geschlossener Kette dieselbe sei. Um einer solchen Frage auszuweichen, habe ich einen Theil der Versuche nach einer abgeänderten Methode durchgeführt. Während nämlich durch die eine Rolle eines Differentialgalvanometers der Condensator entladen wurde, war durch die zweite und durch einen Widerstand, die den Condensator ladende Kette constant geschlossen. Die

[1] Monatsber. der Berliner Akademie 1877.

Wirkungen der beiden Ströme auf die Magnetnadel waren entgegengesetzt, und es konnte durch Veränderung des Widerstandes in der constanten Schliessung der Ausschlag des Galvanometers immer gleich Null gemacht werden. Es ist dies also eine sogenannte Nullmethode. Sie ist, wie ich mich nachträglich überzeugte, auch bereits von Maxwell (l. c.) angegeben worden.

Indem ich die Beobachtungen sowohl hintereinander als auch nach der Nullmethode anstellte, suchte ich den Unterschied zwischen der elektromotorischen Kraft der offenen und der durch einen Widerstand von 5000—10000 S. E. geschlossenen Kette festzustellen. Ein solcher konnte nicht mit Sicherheit constatirt werden; jedenfalls ist er kleiner als $0 \cdot 17^0/_0$.

Für das Verhältniss zwischen der elektrostatischen und elektromagnetischen Einheit der Stromintensität wurde aus vielen Bestimmungen bei sechs verschiedenen Plattendistanzen ein Mittelwerth

$$v = 3 \cdot 0188 \times 10^{10}$$

ermittelt.

Bei der Beobachtung der Condensatorentladungen wird, vorausgesetzt, dass die gesammte während der Ladung im Condensator angehäufte Elektricität, während der kurzen Zeit, in der der Condensator mit dem Galvanometer und der Erde verbunden wird, wirklich abfliesst. Dies ist in unserem Falle auch vollkommen geschehen. Es lässt sich jedoch durch Vergrösserung des Widerstandes, durch den die Entladung vor sich geht, immer bewerkstelligen, dass ein Theil der Elektricität im Condensator zurückgehalten wird. Das Verhältniss der zurückgebliebenen, zur gesammten durch die Ladung im Condensator angehäuften Elektricität ist eine Function des Widerstandes, der Condensatorcapacität, der Entladungsdauer und des Inductionscoëfficienten der in der Leitung vorhandenen Drähte. Die theoretische Behandlung eines solchen Falles lieferte W. Thomson.[1] Durch Beobachtungen dieser Art kann der Widerstand in elektrostatischem Maasse ausgedrückt werden; bestimmt man ihn überdies in elektromagnetischem, so lässt sich aus diesen beiden Werthen v berechnen. Auch diese Methode findet sich in Maxwell's Lehrbuche ange-

[1] Phil. Mag. 1855. Berliner Fortschritte 1853. Wiedemann. Galvanismus. II. Aufl., pag. 121.

führt. Versuche dieser Art sollen in einer zweiten Abhandlung beschrieben werden.

II. Die Beobachtungsmethode.

Ein Pol einer Kette von der elektromotorischen Kraft E sei mit einem Condensator von der elektrostatisch oder mechanisch gemessenen Capacität C verbunden, der andere zur Erde abgeleitet. Im Condensator wird hiedurch eine Elektricitätsmenge EC angesammelt. Unterbricht man dann die Verbindung der Kette mit dem Condensator und entladet letzteren durch ein Galvanometer, so wird dieses momentan abgelenkt. Es nimmt eine dauernde Ablenkung an, wenn man die Ladung und Entladung des Condensators rasch hintereinander wiederholt. Es geschehe dies N-mal in der Secunde, dann haben wir folgende Relation:

$$i = NEC = G\alpha \qquad 1)$$

wo i die Stromstärke, G den Reductionsfactor und α den Galvanometerausschlag bedeutet. Alle Grössen sollen in elektrostatischem Maasse angegeben sein.

Schliesst man hierauf die Kette durch einen Widerstand R (mechanisch gemessen) und durch das Galvanometer, so bekommt man einen Ausschlag φ. Bedeutet J die Stromstärke in diesem Falle, dann haben wir

$$J = \frac{E}{R} = G\varphi \qquad 2)$$

R bedeutet den Widerstand der Gesammtschliessung. Um einen ablesbaren Ausschlag zu bekommen, ist man gewöhnlich bemüssigt vor dem Galvanometer eine Nebenschliessung anzubringen. Ist der Widerstand dieser Nebenschliessung w, der Widerstand der Galvanometerrollen ρ und der Widerstand der gesammten übrigen Leitung sammt Kette W, so hat man

$$R = \frac{W(w+\rho)+\rho w}{w} \qquad 3)$$

zu setzen.

Substituirt man aus 1) den Werth für E in 2), so bekommt man

$$R = \frac{\alpha}{\varphi NC} \qquad 4)$$

Durch die Gleichung 4) wird R in mechanischem Maasse gemessen. Wird derselbe Widerstand in elektromagnetischem Maasse ausgedrückt, so ist

$$R_{\text{mech.}} = \frac{R_{\text{elm.}}}{v^2} \qquad 5)$$

Darin bezeichnen die R angehängten mech. und elm. die entsprechenden Maasssysteme.

Aus 4) und 5) folgt

$$v = \sqrt{R_{\text{elm.}} NC \frac{\varphi}{\alpha}} \qquad 6)$$

Bedient man sich bei den Beobachtungen eines Differentialgalvanometers, so kann man die beiden Rollen desselben bezüglich ihrer Wirksamkeit vollkommen gleich machen. Ein und derselbe Strom, der dann durch dieselben in entgegengesetztem Sinne hindurchgeschickt wird, bringt gar keine Ablenkung der Galvanometernadel hervor. Sind die beiden Rollen auf diese Weise vollkommen compensirt, so kann durch eine dieser Rollen die Kette dauernd geschlossen, durch die andere der Condensator entladen werden. Durch Veränderung der Widerstände W und ρ in dem Schliessungskreise der Kette ist es dann möglich, die Ablenkung der Galvanometernadel gleich Null zu machen. Da dieselbe Kette gleichzeitig den constanten Strom liefert und den Condensator ladet, so haben wir in dem Falle

$$v = \sqrt{R_{\text{elm.}} NC} \qquad 7)$$

III. Anordnung der Versuche.

Fig. 1 gibt eine Übersicht über die Zusammenstellung der Apparate in dem Falle, in dem die Beobachtungen der continuirlichen Condensatorentladungen und die bei geschlossenem Strom hintereinander gemacht wurden. Zur Berechnung der Versuche diente hier Gleichung 6).

Die beiden Rollen des Galvanometers G waren so verbunden, dass sich die Wirkungen des dieselben durchfliessenden

Stromes summirten. *W* ist ein Siemens'scher Stöpseletalon, von zusammen 10000 S. E. Einheiten, aus dem der jeweilig benöthigte Widerstand eingeschaltet wurde, *w* ist ebenfalls ein Siemens'scher Stöpseletalon von zusammen 1000 S. E.; dieser diente zur Einschaltung des Widerstandes *w* in der Nebenschliessung vor dem Galvanometer. *C* der Condensator, dessen eine Platte zur Erde abgeleitet ist; *K* die Kette, *U* ein Commutator und *S* die die Ladung und Entladung des Condensators vermittelnde Stimmgabel. Zu diesem Zwecke waren an ihren Zinken Bügel aus Kupferdraht befestigt (Fig. 2), die an ihren Enden dünne Platindrähte s_1, s_2, s_3 und s_4 trugen, diese letzteren tauchten in die mit Quecksilber gefüllten Näpfchen 1, 2, 3 und 4. Die Näpfchen 1 und 2 waren so weit mit Quecksilber gefüllt, dass die Platindrähte auch bei schwingender Gabel stets mit demselben in Contact blieben. In 3 und 4 reichte das Quecksilber bei ruhender Stimmgabel nahe bis zu den Platinspitzen. Der gegenseitige Abstand der Platinspitzen und des Quecksilberniveaus konnte übrigens beliebig verändert werden, da die Näpfchen auf Schraubenköpfen ruhten und mittelst dieser höher oder tiefer gestellt werden konnten.

Der Condensator wird geladen, wenn der Platindraht in 4 ins Quecksilber taucht, was bei einer Bewegung der unteren Stimmgabelzinke nach abwärts geschieht; während sich die untere Zink nach aufwärts bewegt, unterbricht sie die Verbindung zwischen Kette und Condensator und die obere, welche ja die entgegengesetzte Bewegung macht, stellt die Verbindung des Condensators mit dem Galvanometer her. Zur Beobachtung des Ausschlages φ bei constanter Schliessung der Kette wird der vom Commutator kommende Draht aus dem Näpfchen 2 herausgehoben und in das Quecksilber des Näpfchens 1 eingesenkt; ferner wird zwischen den Näpfchen 5 und 6 mittelst eines dicken Kupferdrahtes eine Verbindung hergestellt, um den grössten Theil des Stromes durch die Nebenschliessung *w* abzuleiten. Vermittelst des Commutators *U* kann der Condensator abwechselnd durch den einen oder durch den andern Pol der Kette geladen werden.

Fig. 3 gibt die Anordnung der Versuche bei den Beobachtungen nach der Nullmethode. Durch die eine der Galvanometerrollen fliesst der constante Strom, durch die andere geschieht

gleichzeitig die continuirliche Condensatorentladung. Die schematische Darstellung in der Figur ist ohne Weiteres leicht verständlich.

Im Nachfolgenden sollen noch einige Bemerkungen über die Stimmgabel, die Widerstände, das Galvanometer und den Condensator folgen.

IV. Die Stimmgabel.

Die Stimmgabel, welche die Ladung und Entladung des Condensators vermittelte, ist elektromagnetisch anregbar; die Länge ihrer Zinken beträgt 26·2 Ctm., deren Breite 1·3 und deren Dicke 0·6 Ctm. Ihre Schwingungszahl war im Mittel 129·88 einfache Schwingungen; da jedoch dieser Zahl nur halb so viel Entladungen des Condensators entsprechen, so will ich hinfort alle auf die Schwingungszahl der Stimmgabel bezüglichen Daten in Doppelschwingungen ausdrücken. Darnach war also die Schwingungszahl im Mittel 64·94. Da ich die auf die Stimmgabel aufgesetzten Bügel hin und wieder ein wenig verschob, oder wohl auch ganz herunternahm und sie dann wieder aufsetzte, so änderte sich die Schwingungszahl von Fall zu Fall, jedoch immer nur unbedeutend. Um diese Änderungen, sowie überhaupt die absolute Zahl der Schwingungen in der Secunde festzustellen, war in der Nähe eine zweite Stimmgabel mit Spalten zur stroboskopischen Beobachtung aufgestellt. Die Laufgewichte an dieser zweiten Stimmgabel waren so gestellt, dass ihre Schwingungszahl nach der Angabe des Verfertigers, R. König, 32·5 betrug. An dieser Stimmgabel, ich will sie Hilfsgabel nennen, wurde während der ganzen Beobachtung nichts geändert, man konnte daher annehmen, dass ihre Schwingungsdauer bis auf die durch die Temperaturunterschiede bedingten Schwankungen constant blieb. Der Temperatureinfluss macht sich nach Kayser[1] bei mässigen Temperaturschwankungen, wie sie im Zimmer vorkommen, in der zweiten Stelle nach dem Komma bemerkbar. Für eine Gabel von 72 einfachen Schwingungen gibt er an, dass die Schwingungszahl pro Grad Erwärmung um 0·0064 abnimmt. In unserem Falle waren die Temperaturen an den verschiedenen Beobach-

[1] Wied., Ann. Bd. 8, 1879.

tungstagen nur wenig verschieden; eine Störung der Genauigkeit in den Resultaten war daher von dieser Seite nicht zu befürchten.

Die verwendeten Stimmgabeln stammen, wie erwähnt, aus der Fabrik des Herrn R. König in Paris her; den an den Zinken angegebenen Zahlen kann also ein grosses Vertrauen entgegengebracht werden. Eine bestimmte Temperatur, für welche die Zahlen gelten, ist nicht angegeben, allein es ist höchst wahrscheinlich, dass sich dieselben auf die Zimmertemperaturen beziehen. Um eine grössere Gewissheit sowohl bezüglich der absoluten Schwingungszahl als auch der entsprechenden Temperatur zu erlangen, habe ich selbst eine Bestimmung durchzuführen versucht. Die zu diesem Zwecke angewendete Methode ist ähnlich jener von Maxwell zur Bestimmung des Selbstinductionscoëfficienten einer Spirale mittelst der Wheatstone'schen Brückenanordnung.

In die vier Zweige 1, 2, 3 und 4 (Fig. 4) einer solchen Brücke seien vier Drähte eingeschaltet; ihre Widerstände sollen durch w_1, w_2, w_3 und w_4 bezeichnet werden; diese sollen so abgeglichen sein, dass im Falle der Einschaltung einer Kette zwischen den Punkten a und b im Brückengalvanometer G kein Ausschlag bemerkt wird. Dies findet bekanntlich statt, wenn die Relation

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{w_3}{w_4}$$

besteht.

Von den vier Zweigdrähten, respective Widerständen, waren drei so gewickelt, dass sie keine Selbstinduction ausübten, im Zweige 1 jedoch bestand der Widerstand aus einer Spirale vom Selbstinductionscoëfficienten P. Wird nun der Strom in dem die Kette enthaltenden Zweige, welchen wir Hauptzweig nennen wollen, geschlossen oder geöffnet, so schlägt die Nadel des Brückengalvanometers momentan aus. Die beiden Ausschläge beim Öffnen und Schliessen der Kette sind gleich gross, aber entgegengesetzt. Aus der Beobachtung dieser momentanen Ablenkungen, sowie aus einigen andern gegebenen Daten lässt sich der Selbstinductionscoëfficient bestimmen.

Unterbricht man den Strom im Hauptzweige rasch hintereinander, etwa mittels einer Stimmgabel, so bekommt man am

Galvanometer keinen Ausschlag, weil sich die von der Öffnung und Schliessung herrührenden Stösse gegenseitig aufheben; schaltet man jedoch in die Galvanometerleitung eine Commutatorvorrichtung ein, die nur die Schliessungs- oder nur die Öffnungsstösse durchs Galvanometer lässt, dann bekommt man eine dauernde Ablenkung, die viel grösser ist, als der einzelne Momentanausschlag. Aus der Beobachtung dieses, sowie der constanten Ablenkung, dann einiger durch die Brückenanordnung gegebener Daten, aus der Schwingungsdauer des Galvanometers und seiner Dämpfung lässt sich die Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde, respective die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel rechnen.

Zur Ausführung der Versuche war nebst einem Meyerstein'schen Galvanometer G im Brückenzweige noch ein zweites Galvanometer G_1 im Hauptzweige eingeschaltet. Die Unterbrechungen des Stromes im Hauptzweige besorgte die Stimmgabel S, die Schliessung und Öffnung der Galvanometerleitung die Gabel S_1. Beide waren elektromagnetisch anregbar und nahezu gleich gestimmt. S_1 wurde von S aus angeregt, in Folge der nicht ganz gleichen Abstimmung schwangen sie mit der Phasendifferenz $\frac{\pi}{2}$. α, β, γ, δ sind wieder Quecksilbernäpfchen, in welche die Platinspitzen der von den Stimmgabeln getragenen Bügel tauchten. Waren die Platinspitzen von S_1 gerade am tiefsten ins Quecksilber eingetaucht, dann traten die Spitzen in α und β gerade aus dem Quecksilber heraus oder in dasselbe hinein. Auf diese Weise konnte entweder nur der Öffnungs- oder nur der Schliessungsinductionsstrom das Galvanometer passiren.

In Folge der elektromotorischen Kraft, welche im Zweige 1 beim Öffnen oder Schliessen der Kette im Hauptzweige auftritt, fliesst durch das Brückengalvanometer ein Strom, der gemessen wird durch

$$\int idt = \frac{GT_0}{\pi} \alpha e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg.} \frac{\pi}{\lambda}} \tag{8}$$

G bedeutet den Reductionsfactor des Galvanometers, T_0 die Schwingungsdauer der ungedämpften Nadel, α den Momentan-

ausschlag und λ das logarithmische Decrement der Schwingungen der Galvanometernadel.

Es lässt sich jedoch $\int idt$ noch in einer andern Weise ausdrücken. Bedeutet nämlich J die Stromstärke im Hauptzweige, dann ist

$$\int idt = \frac{PJw_2w_4}{(w_1+w_4)\{w_2(w_1+w_g)+w_1(w_3+w_g)\}} \qquad 9)$$

w_g bezeichnet den Widerstand der Brückenleitung; bezüglich der Widerstände w_1, w_2, w_3, w_4 ist dabei vorausgesetzt, dass sie der obigen Relation genügen.

Wir setzen

$$\frac{w_2w_4}{(w_1+w_4)\{w_2(w_1+w_g)+w_1(w_3+w_g)\}} = m \qquad 10)$$

J kann am Galvanometer G_1 in absolutem Maasse bestimmt werden.

Aus 8) und 9) folgt

$$\alpha = \frac{PJm\pi}{GT_0 e^{\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{\pi}{\lambda}}}$$

Aus dieser Formel kann man P berechnen, wenn man die Widerstände so gewählt hat, dass α ein gut beobachtbarer Ausschlag ist. Es sei dies angenommen; liesse man nun die Stimmgabel schwingen, dann erhielte man durch die vielen Stösse eine viel zu grosse Ablenkung um sie noch am Spiegelgalvanometer ablesen zu können. Man hat daher früher die Widerstände zu vergrössern und dann die Stimmgabel anzuregen. Der jetzt beobachtete constante Ausschlag sei φ. Ein einziger Stoss hätte bei dieser Anordnung der Widerstände die Momentanausweichung α' hervorgebracht, dann besteht zwischen φ und α' die Relation[1]

$$\varphi = \frac{NT_0\alpha'}{\pi} e^{\frac{\lambda'}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{\pi}{\lambda'}}$$

---

[1] Vide: Töpler und Ettingshausen. Pogg. A. Bd. 160.

Darin bezeichnet N die Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde und λ' das logarithmische Decrement in diesem Falle. α' wäre zu klein, um es genau zu beobachten; wir können es jedoch durch α ausdrücken vermittelst der Gleichung

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{J'm'e^{\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{\pi}{\lambda}}}{Jme^{\frac{\lambda'}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{\pi}{\lambda'}}}$$

Hiernach wird

$$N = \frac{\pi\varphi}{T_0\alpha}\,\frac{Jm}{J'm'}\,\frac{1}{e^{\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{\pi}{\lambda}}} \tag{11}$$

Die Schwingungsdauer des Galvanometers wurde durch eine elektrische Registrirung mittelst des Morse-Apparates bestimmt. Es möge hier ein Beispiel folgen.

Es wurde beobachtet

$$\lambda_{\text{vulg.}} = 0\cdot1158, \quad T_0 = 4\cdot707; \quad \frac{Jm}{J'm'} = 37\cdot84$$

$w_1 = 74\cdot79$; $w_2 = 74\cdot79$; $w_3 = 10\cdot02$; $w_4 = 10\cdot02$; $w_g = 47\cdot6$
$w'_1 = 75$; $w'_2 = 900$; $w'_3 = 900$; $w'_4 = 75$; $w'_g = 1015\cdot3$

$$\alpha = 182\cdot8$$
$$\varphi = 262\cdot0$$

Die Widerstände sind in Siemens'schen Einheiten angegeben. Aus obigen Daten berechnet sich

$$N = 31\cdot95$$

Aus sechs Versuchen, wobei ein, zwei oder drei Daniell'sche Elemente verwendet wurden, bekam ich für N folgende Werthe

$N = 31\cdot92$
$32\cdot09$
$31\cdot89$
$31\cdot95$
$31\cdot84$
$31\cdot79$

Der Mittelwerth ist $N = 31\cdot913$

Nun wurde die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel S mit Hilfe der früher als Hilfsgabel bezeichneten

auf stroboskopischem Wege unter Zugrundelegung der König'schen Angaben bestimmt und

$$N = 31 \cdot 970$$

gefunden. Die Temperatur bei der Stimmgabel war an den verschiedenen Tagen im Mittel = 16°. Die beiden Zahlen stimmen gut überein, und ich habe im Folgenden die von R. König an den Zinken angegebenen Schwingungszahlen als richtig angenommen.

In vielen Fällen wird es von Vortheil sein, die in Fig. 4 gegebene Anordnung zur Bestimmung des Selbstinductionscoëfficienten einer Spirale zu benützen. Das wird namentlich dann der Fall sein, wenn die Verhältnisse derart sind, dass ein einziger Stoss keine erhebliche Ablenkung hervorbringt. Auch dann wird diese Methode gut anzuwenden sein, wenn man auf ein Galvanometer angewiesen ist, dessen Schwingungsdauer und logarithmisches Decrement nicht genau bestimmt werden können, welches also zu Versuchen nach der sogenannten ballistischen Methode ungeeignet ist. Bei der in Rede stehenden Anordnung tritt nämlich in der Formel für den Selbstinductionscoëfficienten statt der Schwingungsdauer des Galvanometers, die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel ein, und das Glied, welches das logarithmische Decrement enthält, fällt heraus, da ja an dem Galvanometer eine dauernde Ablenkung zu beobachten ist. Wir haben wie früher

$$\int idt = PJm = \frac{GT_0}{\pi} \alpha e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}$$

und

$$\varphi = \frac{NT_0}{\pi} \alpha e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}$$

Daraus folgt

$$P = \frac{G\varphi}{JmN} \qquad 12)$$

G ist der Reductionsfactor des Galvanometers in der Brücke, φ der constante Ausschlag, J die am Galvanometer G gemessene Stromstärke, N die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimm-

gabel und m der durch 10) gegebene Ausdruck. Die einzelnen Grössen sind in dem Maasse anzugeben, in welchem man den Selbstinductionscoëfficienten der Spirale ausgedrückt haben will.

Auf diese Weise wurde der Selbstinductionscoëfficient der verwendeten Spirale $P = 5760$ (nach elektromagnetischem Maasse) ermittelt. Von den beiden Rollen des Galvanometers, welches zur Bestimmung des v diente, hatte die eine den Selbstinductionscoëfficienten 45600, die andere 47800 Kilometer. Ihr gegenseitiger Inductionscoëfficient in der Stellung, wie sie am Galvanometer waren, betrug 26000 Kilometer nach elektromagnetischem Maasse. Als Kette genügten zwei oder drei Daniell'sche Elemente.

V. Die Widerstände.

Alle Angaben der Widerstände beziehen sich auf den Stöpseletalon Nr. 2878 von Siemens und Halske. Dieser Etalon hat im Ganzen 10000 Einheiten; er wurde verglichen mit der Ohmadcopie Nr. 7 von Elliot Br. und

1 Ohmad = 1·0494 Einheiten des Stöpseletalons gefunden.

Zur Verwandlung der Etalonangaben in absolutes elektromagnetisches Maass ist nach den gut übereinstimmenden Resultaten von H. Weber, Rayleigh und Mrs. Sidgwick, dann Glazebrook und Sargant

$$1 \text{ Ohmad} = 0 \cdot 987 \times 10^9$$

absoluten Einheiten anzunehmen.

Daraus folgt

$$1 \text{ Einheit des Etalons Nr. } 2878 = 0 \cdot 941 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

Es scheint, dass es den Bemühungen obiger Forscher endlich gelungen ist, den Werth der B. A. Einheit ziemlich genau festzustellen. Die darauf bezüglichen Untersuchungen der neuesten Zeit zeigen eine bemerkenswerthe Übereinstimmung.

So fand:

H. Weber. Der Rotationsinductor etc. Leipzig 1882

$$1 \text{ B. A. E} = 0 \cdot 9877 \times 10^9$$

Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick. Nach der Methode der B. A. mit neuen Apparaten. Wied. Beibl. 1883 1 B. A. E $= 0 \cdot 98651 \times 10^9$

Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick. Nach der Methode von Lorenz. Phil. Trans. 1883. Wied. Beibl. 1884 . 1 B. A. E $= 0 \cdot 98675 \times 10$

R. T. Glazebrook und E. B. Sargant. Durch Messung eines Inductionsstromes nach absolutem Maasse, der durch die Einwirkung eines in einer Spirale entstehenden oder verschwindenden Stromes von gemessener Intensität in einer benachbarten Spirale erregt wurde. Der gegenseitige Inductionscoëfficient der Spiralen war bekannt 1 B. A. E $= 0 \cdot 98665 \times 10^9$

Für das Verhältniss zwischen Quecksilbereinheit und Ohmad haben Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick den Werth 1 Ohmad $= 1 \cdot 0480$ Q. E. gefunden. Ein nahe gleiches Resultat ergab auch eine neuerliche Reproduction der Quecksilbereinheit im Atelier von Siemens und Halske.[1] Der von mir für die Einheit des Stöpseletalons Nr. 2878 gefundene Werth stimmt sehr gut überein mit der älteren Bestimmung von Hermann Siemens.[2] Den früher erwähnten neuesten Resultaten zufolge sind also die Einheiten des Etalons Nr. 2878 etwas grösser als eine Quecksilbereinheit. Noch etwas grösser als die des genannten Etalons habe ich die Widerstände der Etalons Nr. 2158 und 2159 gefunden; die stärksten Abweichungen zeigte jedoch Nr. 1228. Die bezeichneten Etalons sind alle im Atelier von Siemens und Halske verfertigt worden.

Der Vergleich der einzelnen Widerstände des Etalons Nr. 2878 untereinander zeigte durchwegs eine sehr befriedigende Übereinstimmung. Der gegenseitige Unterschied beträgt meistens

---

[1] Siemens und Halske. Reproduction der Quecksilbereinheit etc. Berlin 1882, Wied. Beibl. 1883.

[1] Pogg. A. Bd. 148.

weniger als 0·01% des Werthes. Die grösste Differenz macht 0·08% aus (zwischen 20 und 10+10).

Nr. 2158 (Summe aller Widerstände = 1000 E.) verglichen mit 2878 lieferte Werthe, die bis zu 0·2% zu hoch waren. Gleiche Verhältnisse wurden beim Etalon Nr. 2159 (Summe aller Widerstände = 100 E.) vorgefunden.

Ganz beträchtliche Differenzen wies aber, wie gesagt, Etalon Nr. 1228 auf. Drückt man seine Widerstände durch die Einheiten des Etalons 2878 aus, so ist z. B. 2000 gleich 2008·9, 500 gleich 502·5, 200 gleich 201·25 u. s. w. zu setzen. Was von diesen Abweichungen auf eine fehlerhafte ursprüngliche Bestimmung zurückzuführen ist, und was in einer Änderung des Widerstandes mit der Zeit seinen Grund hat, ist kaum zu entscheiden. Nach Siemens und Halske (l. c.) ändern Neusilberdrähte mit der Zeit ihren Widerstand. Diese Änderung soll indess nie einige Tausendtel betragen.

Zum Vergleiche der Widerstände diente die Wheatstone'sche Brückencombination. Die beiden zu vergleichenden Etalons waren nebst einem calibrirten Kupferdraht zu einem Zweige verbunden. Die drei übrigen Zweige enthielten passende Compensationswiderstände. Nachdem aus dem einen Etalon durch Herausziehen des Stöpsels ein Widerstand eingeschaltet und die Nadel durch Veränderung an den Compensationswiderständen auf Null gebracht worden war, stöpselte man wieder diesen Widerstand und schaltete vom andern Etalon, und eventuell vom calibrirten Kupferdraht so lange ein, bis der Ausschlag wieder gleich Null war. Es ist dies also eine Verbindung der Brücken-, mit der Substitutionsmethode. Sie gewährt den Vortheil, dass man auf diese Weise den Widerstand der Zuleitungsdrähte eliminirt, und dass man weder den absoluten Werth, noch das Verhältniss der Widerstände in den andern drei Zweigen zu kennen braucht.

Vor jedem Vergleiche sind die Widerstände längere Zeit nebeneinander gestanden, um die gleiche Temperatur anzunehmen.

VI. Das Galvanometer.

Das benützte Galvanometer war eine Spiegebussole nach Wiedemann mit zwei Rollen aus sehr feinem Kupferdraht und

je 8000 Windungen. Als Nadel diente entweder ein magnetisirter Stahlspiegel oder ein Ringmagnet mit Glasspiegel. Die Nadel war astasirt und machte nahezu aperiodische Schwingungen. Für die Messungen war es vor Allem nothwendig, den Widerstand der Rollen genau zu kennen. Derselbe wurde nach der oben beschriebenen Brückenmethode bestimmt. Ein neben der Rolle befindliches Thermometer sollte die Temperatur derselben angeben. Damit es erlaubt war, die vom Thermometer angezeigte Temperatur, auch als die Temperatur der Rollen anzuehmen, wurde die Messung immer erst dann ausgeführt, wenn die Temperatur zwei bis drei Stunden constant gewesen war. Diese Vorsicht musste natürlich auch bei den späteren Versuchen, bei denen es sich um eine genaue Kenntniss des Rollenwiderstandes handelte, geübt werden. In Ermangelung eines Beobachtungszimmers mit constanter Temperatur konnten die meisten Versuche erst Nachmittags durchgeführt werden, da Vormittag die Temperatur des Arbeitsraumes bis gegen 11 Uhr constant stieg.

Aus drei Messungen des Rollenwiderstandes bekam ich folgende Resultate

Tab. I.

	Temp.	ρ_A	ρ_B
	16·2	3338·0	3122·7
	16·4	3341·4	3123·4
	16·5	3346·0	3121·5
Mittel	16·4	3341·8	3122·8

ρ bedeutet den Galvanometerwiderstand überhaupt. ρ_A den Widerstand der einen, ρ_B den der andern Rolle. Der Vergleichsetalon Nr. 2878 ist bei 20° C. richtig, d. h. das zwischen der Ohmad und einer Einheit dieses Etalons gefundene Verhältniss, welches zur Verwandlung seiner Widerstände in absolutes Maass benützt wurde, gilt für die Temperatur von 20°. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ergibt sich also

$$\rho_A = 3337\cdot 1 \text{ und } \rho_B = 3118\cdot 3 \ E \text{ bei } 16\cdot 4°$$

Tab. I zeigt, dass es selbst bei grosser Vorsicht nicht immer möglich ist den Temperatureinfluss richtig zu erfassen. Während

die Rolle *A* mit steigender Temperatur auch eine Vergrösserung des Widerstandes aufweist, ist bei *B* der Widerstand für 16·5° kleiner gefunden worden als für 16·2°. Diese Verschiedenheit in den Werthen rührt offenbar daher, dass das Thermometer nicht in allen Fällen die richtige Temperatur der Galvanometerrollen anzeigte. Auf eine Unsicherheit in den Galvanometerbeobachtungen sind diese Unterschiede nicht zurückzuführen, da die Empfindlichkeit des Galvanometers so regulirt war, dass eine Veränderung des Widerstandes im Zweige, wo die Rolle und der Etalon eingeschaltet waren, um 1 S. E. einen Ausschlag von 13 Scalentheilen hervorbrachte.

Beobachtungen, bei denen es auf eine genaue Kenntniss des Widerstandes von Kupferdrahtrollen ankommt, und die nicht in eigens eingerichteten Räumen mit constanter Temperatur durchgeführt werden können, werden immer unter dem Einflusse der wechselnden Temperatur zu leiden haben. Bei Messungen dieser Art, wie die hier vorliegenden, könnte man jedoch diesem Übelstande durch Anwendung von Galvanometerrollen aus Neusilber begegnen. Dabei würde es sich empfehlen, die Anzahl der Windungen behufs Erhöhung der Empfindlichkeit bedeutend zu vermehren. Ein Condensator von der üblichen Capacität würde sich auch bei dem erhöhten Widerstande und Selbstinductionscoëfficienten der Galvanometerrollen noch immer in einer sehr kurzen Zeit entladen.

VII. Der Condensator.

Den Condensator[1] bildeten zwei kreisförmige Stahlplatten mit gut polirten, durch Glasplättchen von einander getrennten Innenflächen. Der Durchmesser der Platten wurde durch Messung ihres Umfanges mittelst eines Streifens Morsepapier ausgewerthet, und die Länge dieses Papiers an einem Normalmaassstabe von Starke ausgemessen. Der Umfang der einen Platte wurde gleich 131·85 der der andern gleich 131·92 Ctm. gefunden. Daraus berechnen sich die Radien zu 20·985 und 20·995 oder im Mittel

$$R = 20\cdot 99 \text{ Ctm.}$$

---

[1] Einige Versuche mit diesem Condensator wurden bereits im 86. Bde. dieser Sitzber. beschrieben.

Die Dicke b war gleich 1·5 Ctm.

Die Platten ruhten auf dem Ende einer 5·5 Ctm. weiten, vertical gestellten Glasröhre (die Plattenfläche war also horizontal) in der Mitte eines Zimmers, wenigstens zwei Meter weit weg von allen Gegenständen, deren Anwesenheit ihre Capacität beeinflussen konnte.

Die untere Platte war zur Erde abgeleitet, zur oberen ein dünner Draht von oben herab geleitet und auf ihre Mitte aufgelegt.

Die zwischen die Condensatorplatten zu legenden Glasplättchen wurden aus nebeneinander liegenden Stellen verschieden dicker Platten herausgeschnitten oder herausgesprengt und möglichst klein gehalten, damit sie vermöge ihrer hohen Dielektricitätsconstante die Capacität des Condensators nicht beeinflussten. Es wurden immer je drei Glasplättchen zwischen die Condensatorplatten gelegt und das arithmetische Mittel ihrer Dicke als Plattendistanz δ angenommen. Tab. II gibt in den drei ersten Rubriken die Dicke der einzelnen Glasplättchen, in der vierten das Mittel derselben δ

Tab. II.

Dicke der Glasplättchen			δ Cm.
0·11107	0 11126	0·11125	0·1112
0·21446	0·21438	0·21440	0·2144
0·33308	0·33344	0·33394	0·3335
0·49001	0·49024	0·49053	0·4903
0·6055	0·6049	0·6041	0·6048
0·8628	0·8607	0·8614	0·8616

Die Dicke der Glasplättchen wurde mit einem Pfister'schen Sphärometer ausgemessen. Dasselbe besitzt eine Schraube, an deren einem Ende sich eine in 250 Theile getheilte Trommel befindet. Das andere Ende schiebt ein rundes Tischchen, auf welchem ein am Ende abgerunder Stift liegt. Dieser Stift drückt mit seinem zweiten zugespitzten Ende gegen eine Libelle, welche zur Einstellung benützt wird. Der auszumessende Körper kommt zwischen das Tischchen und den Stift, und es wird die Einstellung

der Libelle mittetst der Schraube mit und ohne dazwischen gelegten Körper vorgenommen. Aus der bekannten Schraubenganghöhe wird dann die Dicke des dazwischen gelegten Körpers berechnet. Die Höhe eines Schraubenganges wurde zu 0·04988 Ctm. bestimmt, und zwar in folgender Weise. Auf das von der Schraube geschobene runde Tischchen wurde eine sehr feine Nadel befestigt und der erwähnte Maassstab von Starke in verticaler Stellung so nahe am Tischchen angebracht, dass die Nadel unmittelbar vor die Theilstriche des Maassstabes zu liegen kam. Bei einer Drehung der Schraube bewegte sich die Nadel parallel dem Maassstabe auf oder ab. Die Schraube ist ziemlich lang, und daher war eine solche Bewegung in der Ausdehnung bis zu 2 Ctm. erlaubt. Die Nadel wurde nun auf zwei um 2 Ctm. von einander entfernte Theilstriche des Maassstabes eingestellt und die dazu gehörige Anzahl der Trommelumdrehungen bestimmt. Um die Einstellung sicherer zu machen, waren zwei Loupen angebracht und auf die Theilstriche eingestellt. War zugleich die Nadel im Gesichtsfelde, so war sie auch ganz deutlich zu sehen und die Einstellung konnte mit grosser Präcision vorgenommen werden. Die Mitten der beiden Loupen waren gerade 2 Ctm. von einander entfernt. Durch diese constant erhaltene Entfernung der beiden Loupen, welche gerade dem Unterschiede der beiden Nadelstellungen entsprach, wurden die Beobachtungen erleichtert und die Genauigkeit derselben erhöht. Auf diese Weise wurden 2 Decimeter an zwei verschiedenen Stellen des Maassstabes von je 2 zu 2 Ctm. ausgemessen und daraus obiger Werth abgeleitet.

Die Berechnung der Capacität C des Condensators in elektrostatischem Maasse geschah nach der von Kirchhoff gegebenen vollständigen Theorie[1] des Condensators mittelst der Formel

$$C = \frac{R^2}{4\delta} + \frac{R}{4\pi}\left[\log\frac{16\pi(\delta+b)R}{e\delta^2} + \frac{b}{\delta}\log\frac{\delta+b}{b} + 2\right] \qquad 13)$$

welche die Capacität für die nicht zur Erde abgeleitete Platte angibt.

[1] Berliner Monatsberichte 1877.

Es ist bereits in der früher erwähnten Arbeit eine Beobachtungsreihe mitgetheilt worden, welche die Übereinstimmung der Kirchhoff'schen Formel mit der Erfahrung bestätigte. Die Übereinstimmung der durch die Beobachtung bei verschiedenen Plattendistanzen gewonnenen Werthe des v ist wieder ein Beweis, dass die Capacität eines gewöhnlichen Condensators mit derselben Genauigkeit wie die eines Schutzringcondensators gerechnet werden kann. Auf die Vortheile, die der erstere gegenüber dem letzteren bezüglich seiner Billigkeit und leichteren Handhabung besitzt, brauche ich kaum hinzuweisen. Im Übrigen wäre es, wie schon erwähnt, wünschenswerth, zwei solche Condensatoren bezüglich ihrer Capacität direct zu vergleichen, was in Laboratorien, die bereits Schutzringcondensatoren besitzen, leicht ausgeführt werden könnte. Der Vergleich liesse sich mit Hilfe einer oder zweier Stimmgabeln und eines Differentialgalvanometers auf eine einfache und sichere Weise durchführen.

Von der Formel 13) stellt bekanntlich das erste Glied rechts vom Gleichheitszeichen die Capacität eines Condensators dar, der unendlich dünn ist und eine durchwegs gleichmässige Vertheilung der Elektricität an seinen Flächen aufweist. Eine solche gleichmässige Vertheilung ist nun in Wirklichkeit in Folge der Begrenzung des Condensators nicht vorhanden. Die Elektricität hat an seinem Rande eine andere Dichte als in seinem Inneren. Überdies sitzt bei dem hier gebrauchten Condensator, da er ja nicht unendlich dünn ist, auch ein Theil der Elektricität an der Aussenfläche, welcher Umstand bei der Berechnung der Capacität ebenfalls zu berücksichtigen ist. Beides geschieht durch das zweite Glied der Formel. Zur Beurtheilung der Grösse des Correctionsgliedes sind in der nachfolgenden Tabelle die beiden rechtseitigen Glieder für die verschiedenen Plattendistanzen einzeln angeführt. Dabei ist.

$$M = \frac{R^2}{4\delta} \quad \text{und} \quad N = \frac{R}{4\pi}\left[\log \frac{16\pi(\delta+b)R}{e\delta^2} + \frac{b}{\delta}\log\frac{\delta+b}{b} + 2\right]$$

Tab. III.

	M	N	C
0·1112	990·52	23·04	1013·56
0·2144	513·83	20·90	534·73
0·3335	330·26	19·49	349·75
0·4903	224·67	18·29	242·96
0·6048	182·11	17·62	199·73
0·8616	127·84	16·54	144·38

Während das Correctionsglied bei der geringsten Plattendistanz nur etwa $2^0/_0$ ausmacht, erreicht es bei $\delta = 0 \cdot 8616$ mehr als $11^0/_0$ des Gesammtwerthes.

VIII. Resultate.

In den nachfolgenden Tabellen bedeutet:

A die Anzahl der verwendeten Elemente. D = Daniell, B = Bunsen (mit doppelt-chroms. Kaliumlösung), L = Leclanché,

T_1 die Temperatur in C° bei der Stimmgabel,

T_2 „ „ beim Galvanometer,

ϑ die stroboskopische Schwingungsdauer,

N die Schwingungszahl der Stimmgabel in der Secunde (Doppelschwingung),

den Ausschlag, wenn die Kette durch das Galvanometer und durch eine Nebenschliessung geschlossen war. Der Aus schlag ist auf einen der Tangente proportionalen Theil corrigirt.

a Den Doppelausschlag des Galvanometers, wenn der Condensator sammt den Zuleitungsdrähten N-mal in der Secunde entladen wurde;

a_0 dasselbe bei der Entladung der Zuleitungsdrähte, allein ohne Condensator,

α das auf einen der Tangente prop. Theil corrigirte $\frac{a}{2} - \frac{a_0}{2}$,

C Die Capacität des Condensators in Centimetern,

δ Die Plattendistanz des Condensators in Centimetern,

w den Widerstand in der Nebenschliessung vor dem Galvanometer,

ρ den Widerstand des Galvanometers.

W „ „ in der Hauptleitung.

Die Entfernung der Scala vom Spiegel war 200 Ctm.

Zunächst zeigen die Daten der Tab. IV eine vollkommene Proportionalität zwischen der elektromotorischen Kraft der ladenden Kette und der Ladung des Condensators, wie das die Theorie verlangt. Das Verhältniss zwischen dem Ausschlag φ, der der elektromotorischen Kraft und dem Ausschlage α, der der Ladung des Condensators proportional ist, ist ein constantes.

Tab. IV

A	α		$\frac{\varphi}{\alpha}$
15 D	308·6	353·8	1·1461
12	248·2	284·6	1·1466
9	186·8	214·2	1·1466
6 „	124·1	142·5	1·1482
3	61·9	70·0	1·1470

Bezüglich der Frage, ob sich der Condensator während der kurzen Dauer des Eintauchens der Platinspitzen (etwa 0·007 Sec.) vollkommen lade und entlade, verweise ich auf die betreffenden Versuche, die in der früher erwähnten Arbeit (Sitzber. 83. Bd.) mitgetheilt worden sind. Dieselben zeigen, dass Condensatoren von den hier gebräuchlichen Capacitäten in noch kürzerer Zeit vollständig geladen und entladen werden können.

Zur Gewinnung der in den nachfolgenden sechs Tabellen enthaltenen Resultate sind die Beobachtungen der Condensatorentladungen und die bei geschlossener Kette hintereinander gemacht worden.

Es wurde zuerst die Kette durch W, w und ρ dauernd geschlossen und φ abgelesen; dann die Verbindung zur Ladung des Condensators hergestellt, a und a_0 beobachtet und schliesslich wieder eine Ablesung des φ gemacht; jedes φ ist also das Mittel aus zwei Werthen.

Die Beobachtungen sind an verschiedenen Tagen gemacht worden; an jedem Tage aber wurde bei allen sechs Plattendistanzen beobachtet.

Es war $W = 10000$ S. E.; $w = 5\cdot01$ S. E.; ρ der Widerstand der beiden Galvanometerrollen bei der betreffenden Temperatur.

Tab. V.

$\delta = 0\cdot1112, \quad C = 1013\cdot56.$

A	T_1	T_2	ϑ	N		a	a_0	α	
9 *D*	17·5	17·6	18·8	64·95	212·3	400·8	21·3	189·2	$3\cdot001\times10^{10}$
9	16·6	16·3	20·4	64·95	214·2	395·5	21·1	186·8	3·027
15	17·0	16·4	14·0	64·93	352·1	656·6	34·4	308·8	3·017
15	17·0	16·6	14·0	64·93	351·7	654·9	34·5	308·0	3·020
9 *B*	17·0	16·6	19·2	64·95	388·1	721·6	38·2	338·8	3·025
9 „	17·0	16·6	22·0	64·95	387·4	722·1	38·2	339·0	3·022 „
								Mittel	$3\cdot0187\times10^{10}$

Tab. VI.

$\delta = 0\cdot2144, \quad C = 534\cdot73.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	ρ		a_0	α	
9 *D*	17·5	17·6	17·2	64·94	212·3	220·4	21·3	99·4	$3\cdot007\times10^{10}$
12 „	17·0	16·2	17·2	64·94	284·8	291·1	27·8	131·5	3·021
15	17·0	16·4	16·0	64·94	352·9	361·2	34 5	163·0	3·019
15 „	17·0	16·7	14·0	64·93	350·8	359·7	34·3	162·3	3·017
9 *B*	17·0	16·5	19·2	64·95	387·4	396·4	38·2	178·6	3·024
9	17·0	16·7	22	64·95	387·7	398·4	38·2	179·6	3·016 „
								Mittel	$3\cdot0173\times10^{10}$

Tab. VII.

$\delta = 0 \cdot 3335, \quad C = 349 \cdot 75.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	φ		a_0	α	
9 ***D***	17·6	17·5	17·2	64·94	212·3	150·6	21·3	64·6	$3 \cdot 016 \times 10^{10}$
9	17·0	16·0	12·4	64·92	214·5	150·7	21·1	64·8	3·018
15	16·9	16·3	12·4	64·92	353·6	248·9	34·5	107·1	3·016
15 „	17·0	16·7	14·0	64·93	349·9	246·6	34·3	106·0	3·015
9 ***B***	17·0	16·5	19·2	64·95	388·0	272·2	38·2	116·8	3·026
9	17·0	16·7	19·2	64·95	387·7	273·5	38·2	117·2	3·019 „
								Mittel	$3 \cdot 0183 \times 10^{10}$

Tab. VIII.

$\delta = 0 \cdot 4903, \quad C = 242 \cdot 96.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	φ		a_0	α	
9 ***D***	17·6	17·5	17·4	64·94	212·2	110·6	21·1	44·75	$3 \cdot 021 \times 10^{10}$
15	16·4	16·0	12·4	64·92	356·0	184·4	34·6	74·90	3·014
15	16·9	16·3	12·0	64·92	354·3	183·5	34·7	74·40	3·019
15	17·0	16·6	16·2	64·94	349·6	181·4	34·6	73·40	3·019
9 ***B***	16·6	16·2	22·0	64·95	387·5	201·0	38·2	81·35	3·018
9	17·0	16·7	22·0	64·95	387 3	200·5	38·2	81·10	3·024 „
								Mittel	$3 \cdot 0192 \times 10^{10}$

Tab. IX.

$\delta = 0 \cdot 6048, \quad C = 199 \cdot 73.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	φ		a_0	α	
15 ***D***	16·4	16·1	11·2	64·92	355·7	157·5	34·7	61·40	$3 \cdot 017 \times 10^{10}$
15	16·8	16·2	18·4	64·95	354·6	157·5	34·7	61·40	3·015
15	17·0	16·6	16·2	64·94	349·4	155·6	34·2	60·70	3·010
9 ***B***	16·6	16·2	22·0	64·95	387·3	172·3	38·3	67·00	3·015
9	17·0	16·8	22·0	64·95	386·6	172·1	38 2	66·95	3·017 „
								Mittel	$3 \cdot 0148 \times 10^{10}$

Tab. X.

$\delta = 0\cdot8616, \quad C = 144\cdot38.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	φ	a	a_0	α	
15 *D*	16·8	16·2	12	64·92	356·6	123·5	34·5	44·48	$3\cdot018 \times 10^{10}$
13	16·9	16·2	18·4	64·95	307·0	106·4	29·4	38·50	3·012
15	17·0	16·6	20·0	64·95	349·4	121·8	34·4	43·70	3·016
9 *B*	16·6	16·2	22·0	64·95	387·8	134·2	38·1	48·05	3·029
9	17·0	16·8	22·0	64·95	386·2	134·6	38·0	48·30	3·018 „
								Mittel	$3\cdot0186 \times 10^{10}$

Bei den nachfolgenden Versuchen wurde die Nullmethode angewendet. Nachdem beide Rollen, durch Verschieben der einen, soweit abgeglichen worden waren, dass ein Strom, der dieselben im entgegengesetzten Sinne durchfloss, keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbrachte, wurde durch die eine die continuirliche Condensatorentladung geschickt, durch die andere aber die Kette dauernd geschlossen. Wie früher war auch jetzt vor dieser Rolle eine Nebenschliessung w und überdies in der Hauptleitung ein Widerstandsetalon W eingeschaltet. Durch Veränderung der Widerstände w und W war es möglich, die Ablenkung der Nadel gleich Null zu machen. In allen Fällen war zum Widerstande der Galvanometerrollen noch ein genau ausgewertheter Ballastwiderstand eingeschaltet. In den drei folgenden Tabellen sind alle Widerstände auf die entsprechende Temperatur corrigirt angegeben. Die Beobachtung musste auf die drei kleineren Plattendistanzen beschränkt bleiben, da bei den grösseren die Stromstärke etwas zu gering war um die Einstellung auf Null mit der wünschenswerthen Genauigkeit vornehmen zu können. Bei Bestimmungen nach dieser Methode wird es in Hinkunft gerathen sein, Condensatoren mit recht grosser Capacität zu benützen. Die Capacität derselben braucht nicht gerade direct berechenbar zu sein; man kann ja dieselbe mit der eines Schutzringes oder gewöhnlichen Condensators vergleichen und im absoluten Maasse ausdrücken.

Für die Berechnung dieser Versuche wurde die Capacität der Zuleitungsdrähte in absolutem Werthe bestimmt und zu der

Capacität des Condensators addirt. C ist also nachfolgend die Summe dieser beiden Capacitäten.

Die Bestimmung der Capacität der Zuleitungsdrähte geschah durch Vergleich derselben mit der des Condensators; sie wurde gleich 57·05 Ctm. gefunden.

Unter ρ ist jetzt die Summe des Rollen- und Ballastwiderstandes zu verstehen. Es möge wieder erwähnt sein, dass die in den Tabellen für jede Plattendistanz angegebenen Beobachtungen nicht alle hintereinander gemacht wurden, sondern dass die Beobachtungen bei verschiedenen Plattendistanzen mit einander abwechselten.

Tab. XI.

$\delta = 0 \cdot 1112, \quad C = 1070 \cdot 6.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	ρ		W	V
10 *B*	15·6	15	19·6	64·95	10335	5·004	6756	$3 \cdot 023 \times 10^{10}$
	16·0	15·2	20·0	64·95	10338	5·004	6794	3·031
	16·2	15·4	20·0	64·95	10341	5·004	6784	3·030
	16·6	15·6	20·6	64·95	10344	5·004	6748	3·022
„	16·6	15·6	20·6	64·95	10344	5·004	6738	3·020
12 *L*	16·6	16·2	19·2	64·95	4304	5·006	16211	3·020
	16·6	16·2	19·6	64·95	10357	5·006	6740	3·022 „
							Mittel	$3 \cdot 0240 \times 10^{10}$

Tab. XII.

$\delta = 0 \cdot 2144, \quad C = 591 \cdot 8.$

A	T_1	T_2	ϑ	N			W	V
10 *B*	15·6	15	19·6	64·95	12341	4·007	8194	$3 \cdot 022 \times 10^{10}$
	16·0	15·2	20·0	64·95	12344	4·007	8194	3·023
	16·2	15·4	20·0	64·95	12347	4·007	8160	3·016
	16·6	15·6	20·8	64·95	12351	4·007	8175	3·020
	16·6	15·6	20·8	64 95	12351	4·007	8155	3·016 „
							Mittel	$3 \cdot 0194 \times 10^{10}$

Tab. XIII.

$\delta = 0 \cdot 3335, \quad C = 406 \cdot 8.$

A	T_1	T_2	ϑ	N	ρ		W	V
10 B	15·6	15·0	19·6	64·95	12341	2·005	5948	$3 \cdot 017 \times 10^{10}$
	16·0	15·2	20·0	64·95	12342	3·005	8933	3·021
	16·2	15·4	20·0	64·95	12347	2·005	5959	3·021
	16·6	15·6	20·8	64·95	12351	3·005	8914	3·019
	16·6	15·6	20·8	64·95	12351	3·005	8900	3·016 „
							Mittel	$3 \cdot 0188 \times 10^{10}$

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass im Allgemeinen die bei grossen Plattendistanzen erhaltenen Werthe untereinander besser übereinstimmen als die bei kleinen. Es folgt dies sowohl aus den Tabellen V—X als auch XI—XIII. Ein Theil dieser Unterschiede mag vielleicht auf den Einfluss des unvermeidlichen Staubes zu schieben sein. Die bei verschiedenen Plattendistanzen erhaltenen Mittelwerthe zeigen jedoch eine sehr gute Übereinstimmung.

In Tabelle XIV sind die zwei Mittelwerthe, die nach den beiden Methoden für je eine der drei kleinsten Distanzen erhalten wurden, zusammengestellt, — v_1 bezieht sich auf die erste, v_2 auf die letzte Auswerthung.

Tab. XIV.

δ		
0·1112	$3 \cdot 0187 \times 10^{10}$	$3 \cdot 0240 \times 10^{10}$
0·2144	3·0173	3·0194
0·3335	3·0183 „	3·0188 „
Mittel	$3 \cdot 0181 \times 10^{10}$	$3 \cdot 0207 \times 10^{10}$

Der nach der Nullmethode erhaltene Mittelwerth ist um 0·086% grösser, als der Mittelwerth v_1. — Hiernach wäre in der That die elektromotorische Kraft der offenen Kette etwas grösser

als die der geschlossenen (bei einem Widerstande von 5000 bis 10000 S. E. im Schliessungskreise). Allein der Unterschied ist so klein, dass er auch Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden kann; es lässt sich daher aus diesen Beobachtungen ein Unterschied in der elektromotorischen Kraft der Kette in den zwei Fällen nicht mit Sicherheit beweisen.

Der grösseren Übersicht halber sollen die neun Mittelwerthe in der Reihenfolge, wie sie erhalten wurden, hier zusammengestellt werden.

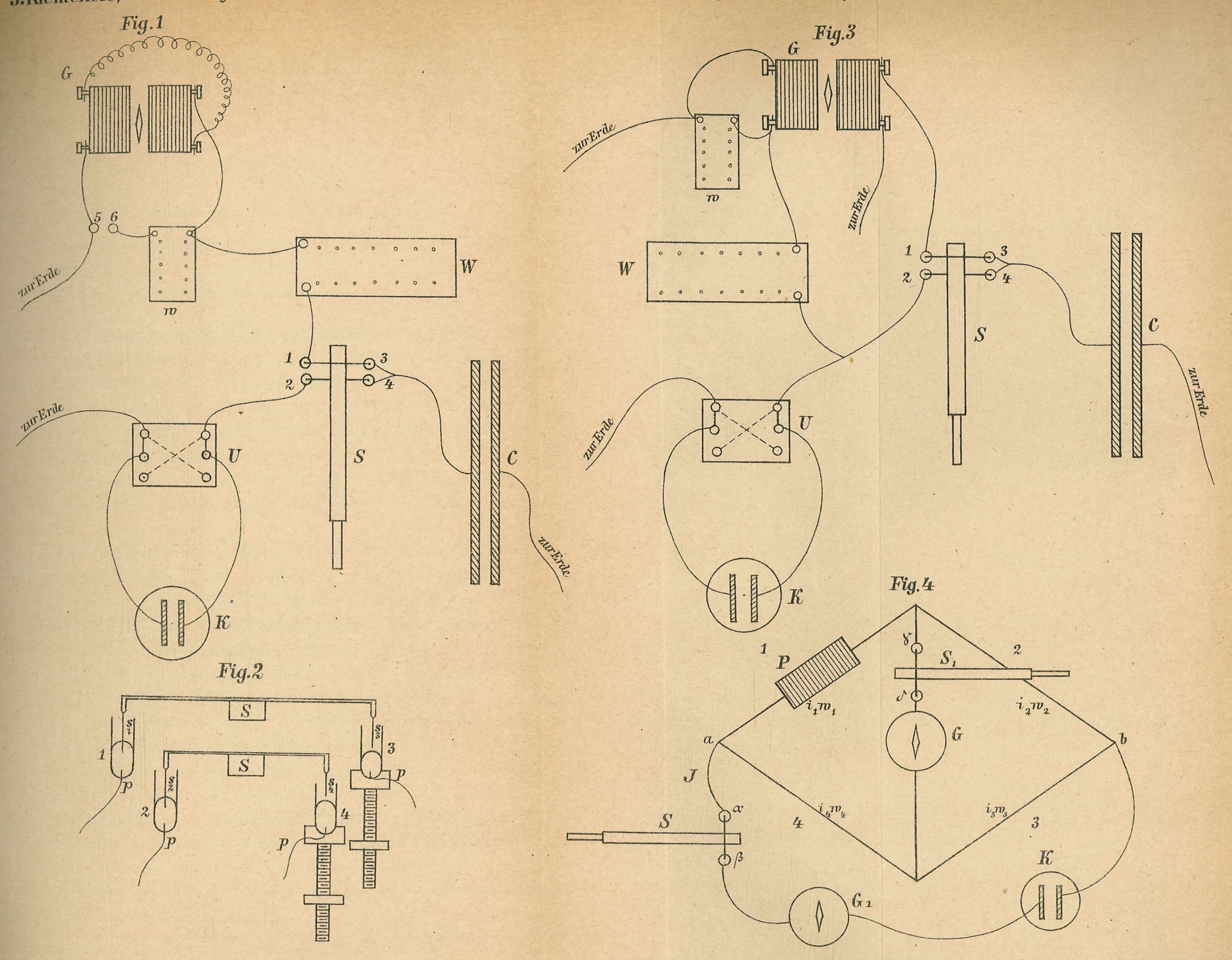
Tab. XV

δ	
0·1112	$3\cdot0187\times10^{10}$
0·2144	3·0173
0·3335	3·0183
0·4903	3·0192
0·6048	3·0148
0·8616	3·0186
0·1112	3·0240
0·2144	3·0194
0·3335	3·0188

Als Schlussresultat dieser Untersuchungsreihe ist der aus Tab. XV folgende Mittelwerth

$$v = 3\cdot0188\times10^{10}$$

zu verzeichnen.



Autor del. F. Schima lith.

Druck v. J. Wagner, Wien.